

۱۴۷۰۰

مکانیک مدار

ویژه دانشجویان مهندسی

ORBITAL MECHANICS FOR ENGINEERING STUDENTS

مترجمین:

سید حسین پورتاکدوست، استاد دانشگاه صنعتی شریف

مریم کیانی، دکتری هوافضا، دانشگاه صنعتی شریف

نیما اسدیان، استادیار، دانشگاه صنعتی شریف



**NAGHOOS
PUBLICATION**

سرشناسه : پورتاکدوست، سیدحسین
عنوان و نام پدیدآور : مکانیک مدار ویژه دانشجویان مهندسی
مشخصات نشر : تهران: انتشارات ناقوس، ۱۳۹۴.
مشخصات ظاهری : ۶۳۲ ص: مصور، جدول.
شابک : ۹۷۸-۹۶۴-۳۷۷-۸۰۹-۵ : بها : ۳۸۰,۰۰۰ ریال
وضعیت فهرست نویسی : فیا
موضوع : ماهواره‌ها-مدارها
موضوع : ماهواره‌ها-دینامیک
موضوع : مکانیک تحلیلی
شناسه اف رده : کیانی، مریم، ۱۳۶۲-
شناسه افزوده : اسدیان، نیما، ۱۳۵۶-
رده‌بندی کنگر : ۱۳۹۲ م۷ پ/۱۰۸۰ TL
رده‌بندی دی‌سی : ۶۲۹/۴۱۱۳
شماره کتابشناسی ملی : ۳۹۸۶۲۰۷



NAGHOOS
PUBLICATION

رای آنلاین به آدرس زیر مراجعه کنید:

www.naghooexpress.ir

انتشارات ناقوس

چاپ اول

نام کتاب : مکانیک مدار ویژه دانشجویان مهندسی
ناشر : انتشارات ناقوس
مترجمین : سید حسین پورتاکدوست، مریم کیانی، نیما اسدیان.
چاپ اول : ۱۳۹۴
تیراژ : ۲۰۰ جلد
چاپ و صحافی : نارنجستان
ناظر فنی چاپ : یاسمن تجملی محدث
سرپرست صفحه‌آرا : صدف پورعبدی
صفحه‌آرا : امیر کلینی
قیمت : ۳۸۰,۰۰۰ ریال
شابک : ۹۷۸-۹۶۴-۳۷۷-۸۰۹-۵
ISBN : 978-964-377-809-5

S.M.S : ۳۰۰۰۴۵۰۳۲۱

کلیه حقوق برای سرمایه‌گذار محفوظ است. تکثیر تمامی یا قسمتی از این اثر به‌صورت حروفچینی یا چاپ مجدد، چاپ افست، پلی‌کپی، فتوکپی و انواع دیگر چاپ ممنوع است و پیگرد قانونی دارد.

مرکز پخش: انتشارات ناقوس

۱- خیابان انقلاب- خیابان ۱۲ فروردین- بین وحیدنظری و روانمهر- بن‌بست حقیقت- پلاک ۴

تلفن و فاکس : ۶۶۴۷۸۹۵۷-۶۶۴۷۸۹۵۸

۲- کتابفروشی الیاس: خیابان انقلاب، نبش ۱۲ فروردین تلفن: ۶۶۴۰۵۰۸۴

۳- کتابفروشی گلریزان: ضلع جنوب‌شرقی میدان انقلاب، پلاک ۱۱ تلفن: ۶۶۹۷۶۲۳۰

مکانیک مدار علم مطالعه حرکت ماهواره، سیستم و یا اجرام فضایی تحت تاثیر نیروهای نظیر جاذبه، پسای اتمسفر، نیروی پشران و غیره می‌باشد. مکانیک مدار را می‌توان هسته اولیه طراحی مأموریت‌های فضایی و کنترل آنها به حساب آورد. تا آغاز سفرهای فضایی در قرن بیستم، تمایز اندکی میان مکانیک سماوی و مداری وجود داشت و تا پیش از پرتاب اسپوتنیک ۱ که نخستین ماهواره ساخت بشر است، این موضوع علمی دینامیک سماوی نامیده می‌شد. مکانیک مدار، علمی مبتنی بر قوانین حرکت و قانون جاذبه عمومی نیوتن است. تمرکز مکانیک مدار بیشتر بر مباحث حرکت انتقالی فضاپیما شامل مسیرهای حرکت مداری، مانورهای مداری، اغتشاشات مداری، تحلیل‌های مداری، تعیین مدار و طراحی اولیه مسیرهای انتقال بین‌سیاره‌ای می‌باشد.

کتاب ترجمه شده از جمله بهترین و مناسب‌ترین کتب منتشر شده برای آموزش دانشجویان در زمینه مکانیک مدار در دوره کارشناسی است. مطالعه این کتاب برای دانشجویان مهندسی هوافضا و کلیه افراد علاقمند به مطالعه حرکت، سیارات و رفتار ماهواره‌ها مفید است. ترجمه حاضر صرفاً به موضوعات دینامیک انتقالی ماهواره‌ها محدود دارد و لذا شامل ۹ فصل از سومین نسخه منتشر شده کتاب مرجع می‌باشد.

از آنجایی که بدون شک ترجمه این کتاب عاری از نقص نمی‌باشد، از کلیه خوانندگان محترم تقاضا می‌شود ایرادات، نظرات و پیشنهادات خویش را به آدرس یکی از مترجمان ارسال نمایند.

۱۳۹۴

سیدحسین پورتاکدوست، استاد دانشگاه صنعتی شریف
مریم کیانی، دکتری هوافضا، دانشگاه صنعتی شریف
نیما اسدیان، استادیار، دانشکده صنعتی شریف

هدف این کتاب تهیه مقدمه‌ای بر مکانیک فضایی برای دانشجویان مهندسی در مقطع کارشناسی است. اگرچه دانشجویان تحصیلات تکمیلی، محققین و خبرگان این رشته، مخاطبان مستقیم این کتاب نیستند، اما مرور کتاب حاضر می‌تواند برای آنان نیز مفید باشد. خوانندگان علاقمندی که برای اولین بار این کتاب را مطالعه می‌فرمایند باید دانش خوبی از فیزیک، دینامیک، ریاضیات مرتبط با معادلات دیفرانسیل و جبر خطی داشته باشند. اینجانب تمام تلاش خود را کرده‌ام تا متن حاضر برای خوانندگان قابل فهم و روان باشد. بدین منظور، تعداد زیادی مثال جمع‌آوری شده، به خوبی توضیح داده شده و حل آن‌ها با تمام جزئیات ارائه شده است. هدف از این مثال‌ها، شفاف ساختن برخی بیشتر موضوعات است. من دریافته‌ام که دانشجویان، تدریس از طریق ارائه مثال را بیشتر می‌پسندند. رتوبین کتاب، همواره فرض بر آن بوده است که انگار کلیه مطالب برای اولین بار مطرح می‌شوند لذا تمامی جزئیات حتی در حل مثال‌ها ارائه شده است. تمامی مثال‌ها و الگوریتم‌هایی که با حسابی سنگینی دارند با کد MATLAB نگارش شده‌اند.

ساختار کتاب همانند نسخه نرم باقی مانده است. فصل اول، سینماتیک برداری را در فضای سه بعدی مرور کرده و قانون حرکت نیوتن را جذب را معرفی می‌کند. علاوه بر این، موضوع حرکت نسبی که در بحث ملاقات مداری و دینامیک وضعی ما واره جازر اهمیت است، در این فصل مورد توجه قرار گرفته است. موضوع جدید مطرح شده در این فصل، حل معادله دیفرانسیل معمولی است که برای دانشجویانی که قصد شبیه‌سازی عددی در MATLAB یا دیگر نرم افزارها را دارند، بسیار مفید است. در فصل دوم حل برداری مساله کلاسیک در جرم ارائه شده که منجر به فرمول‌های کاربردی برای تحلیل مدارها و مسیرهایی به شکل بیضی، بیضی و هذلولی می‌شود. مساله سه جسم محدودشده نیز در این فصل گنجانده شده تا نقاط گرانژ معرفی شده و حل عددی مساله مسیر ماه میسر شود. معادلات کپلر که در مدارهای گوناگون معرفت را به زمان مرتبط می‌سازند در فصل سوم استخراج شده‌اند. همچنین، فرمولاسیون متغیر جهانی نیز ارائه شده است. فصل چهارم به توصیف مدارها در سه بعد اختصاص داده شده است. تبدیل مختصات و توانی دوران‌های اولیه نیز در این فصل تعریف شده‌اند. همچنین، روش‌های تبدیل بردار حالت به المان‌های کلاسیک مداری و بالعکس نیز ارائه شده‌است و اثر پخیدگی زمین بر حرکت گره صعودی مدار و بردار خروج از مورد بررسی قرار گرفته است. فصل ۵ را می‌توان مقدمه‌ای بر تعیین مدار مقدماتی در نظر گرفت که شامل روش‌های گیبس، گاس و حل مساله لامبرت می‌باشد. موضوعات کمکی این فصل شامل سیستم مختصات سطح-مرکز، شمارش روز ژولین و زمان نجومی است. فصل ۶، ابزار متداول انتقال از یک مدار به مدار دیگر را به کمک مانورهای ضربه‌ای

در اختیار قرار می‌دهد. انتقال هاهمن، تغییر فاز و تغییر صفحه مداری از جمله این مانورها می‌باشند. در فصل ۷، حرکت نسبی در کلان قضیه به اختصار معرفی شده و مساله ملاقات مداری شرح داده شده است. فصل ۸، مقدمه‌ای بر طراحی ماموریت‌های بین سیاره‌ای با استفاده از روش مقاطع مخروطی به هم متصل است. فصل ۹ نیز مقدمه‌ای بر اغتشاشات متداول مداری شامل پسا، میدان جاذبی غیرکروی، فشار تشعشعات خورشیدی و جاذبه ماه و خورشید است.

فصول ۱ الی ۴ هسته اولین بخش آموزش مکانیک مدار هستند. زمان اختصاص داده شده به فصل ۱ بستگی به سابقه و پیش‌زمینه دانشجو دارد. ممکن است این فصل به اختصار مرور شود و پس از آن نه‌ای به عنوان یک مرجع مورد استفاده قرار گیرد. آنچه که پس از فصل ۴ ارائه می‌شود وابسته به موضوع دوره آموزشی است.

فصول ۵ الی ۹ ادامه موضوع مکانیک مدار می‌باشند. فصل ۶ که در باب مانورهای مداری است در هر حالتی حتماً باید تدریس شود. آموزش فصول ۵، ۷، ۸ و ۹ اختیاری است. هرچند اگر هدف معرفی ماموریت‌های بین سیاره‌ای در کتاب ۸ است، بیش از آن باید مساله لامبرت (بخش ۳.۵) توضیح داده شود. در نهایت، فصل ۹ برای یک دوره آموزشی کاملاً متمرکز بر مکانیک مداری با مقدمه‌ای بر اختلالات مداری مناسب است.

موضوع مهم سیستم‌های کنترل فضاییما از این فصل حذف شده است. اما مطالب مطرح شده در این کتاب به انضمام یک دوره آموزشی در باب ترمینولوژی، مبانی لازم برای مطالعه کنترل فضاییما را فراهم می‌سازد.

درک موضوع و حل مسائل کتاب نیاز به استفاده فراوان از ریاضیات دوره کارشناسی دارد. البته بدیهی است که ریاضیات زبان گویای مهندسی است. دانشجویان نباید فراموش کنند که ابزارک نیوتن به کمک جبر و ریاضیات توانست مسائل مکانیک مدار را به سادگی به بدای از روش تاریخی مشاهدات و جمع‌آوری اطلاعات حل کند. نیوتن (۱۶۴۲-۱۷۲۷) فیزیکدان و ریاضیدانی انگلیسی بود که مقاله وی در سال ۱۶۸۷ با عنوان اصول ریاضی فلسفه طبیعی یکی از تاثیرگذارترین کارهای علمی تمام اعصار است. قابل ذکر است که ریاضیدان آلمانی لایبنیتز (۱۶۴۶-۱۷۱۶) با اختراع حساب سری‌های نامتناهی در دهه ۱۶۷۰ و مستقل از نیوتن مورد تقدیر قرار گرفت.

علاوه بر تقویت مهارت ریاضیات، دانشجویان باید بتوانند به خوبی از کامپیوتر استفاده کنند (استفاده از سیستم عددی باینری توسعه داده شده توسط لایبنیتز). بسته‌های نرم‌افزاری بسیاری برای انجام ریاضیات تجاری وجود دارد. در هر جا که امکان داشته باشد باید از این نرم‌افزارها برای انجام محاسبات تکراری و خسته‌کننده بهره گرفت. مهارت برنامه‌نویسی کامپیوتری در مطالعه

آورده شده‌اند، تعداد زیادی از روش‌های توسعه داده شده در متن را در فرمتی قابل اجرا در نرم‌افزار نشان می‌دهد. تمامی این برنامه‌ها در نسخه 8.0 (Release 2012b) نرم‌افزار MATLAB ایجاد و تست شده‌اند. اطلاعاتی در مورد MATLAB که یک نشان تجاری ثبت شده Mathworks است در آدرس زیر یافت می‌شود:

The MathWorks, Inc.
3 Apple Hill Drive
Natick, MA 01760-2089, USA
www.mathworks.com

پیوست A، برخی جداول داده‌های فیزیکی و فاکتورهای تبدیل را نشان می‌دهد. پیوست B نقشه‌راهی برای فصل اول کتاب است که نشان می‌دهد پایه‌ای‌ترین معادلات مکانیک مدار چطور به یکدیگر مرتبط‌اند. پیوست C، معادلات حرکت n -جسم را استخراج نموده و نحوه پیاده‌سازی آن در MATLAB را نشان می‌دهد. پیوست D لیستی از الگوریتم‌های MATLAB و مثال‌های ارائه‌شده در متن را نشان می‌دهد. پیوست E نشان می‌دهد که میدان جاذبی یک جسم کروی متقارن با میدان ناشی از حره متمرکز شده در مرکز کره یکسان است. پیوست F چگونگی رویایی با مشکلات عددی در تحلیل برخی انتشارات را نشان می‌دهد.

زمینه کیهان‌شناسی بسیار گسترده و غنی است. مراجعی که در این کتاب ذکر شده، در انتهای کتاب فهرست شده‌اند. همچنین برخی کتب مرتبط دیگر که مطالعه آن‌ها برای خوانندگان علاقمند مفید خواهد بود، در ادامه فهرست شده است.

فهرست

صفحه

عناوین

۱۷	فصل اول: دینامیک ذرات
۱۸	۱.۱ مقدمه
۱۹	۲.۱ بردارها
۲۷	۳.۱ سینماتیک
۳۲	۴.۱ جرم، نیرو و قانون جاذبه نیوتن
۳۶	۵.۱ قانون حرکت نیوتن
۴۱	۶.۱ مشتقات زمانی، ردارهای متحرک
۴۶	۷.۱ حرکت نسبی
۵۵	۸.۱ انتگرال گیری عددی
۶۰	۸.۱.۱ روش های رانگ-کوتا
۶۸	۸.۱.۲ روش پیش بینی-تصحیح ها
۶۹	۸.۱.۲ رانگ-کوتا با اندازه گام متغیر
۷۴	تمرین ها
۸۰	فهرست عبارات کلیدی
۸۳	فصل دوم: مساله دو جسم
۸۴	۱.۲ مقدمه
۸۴	۲.۲ معادلات حرکت در چارچوب اینرسی
۹۳	۳.۲ معادلات حرکت نسبی
۹۷	۴.۲ مومنتم زاویه ای و فرمول مدار
۱۰۶	۵.۲ قانون انرژی
۱۰۷	۶.۲ مدارهای دایروی ($e = 0$)
۱۱۳	۷.۲ مدارهای بیضوی ($0 < e < 1$)
۱۲۵	۸.۲ مسیرهای سهموی ($e = 1$)
۱۲۸	۹.۲ مسیرهای هذلولوی ($e > 1$)
۱۳۹	۱۰.۲ چارچوب مداری کانون-مرکز
۱۴۲	۱۱.۲ ضرایب لاگرانژی
۱۵۵	۱۲.۲ مساله سه جسم محدود شده
۱۵۹	۱۲.۲.۱ نقاط لاگرانژی
۱۶۷	۱۲.۲.۲ ثابت ژاکوبی
۱۷۴	تمرین ها
۱۸۱	لیست عبارات کلیدی

۱۸۳	فصل سوم: موقعیت مداری به عنوان تابعی از زمان
۱۸۴	۱.۳ مقدمه
۱۸۴	۲.۳ فاصله زمانی از حضيض
۱۸۵	۳.۳ مدارهای دایروی
۱۸۶	۴.۳ مدارهای بیضوی ($e < 1$)
۲۰۲	۵.۳ مسیرهای سهموی ($e = 1$)
۲۰۴	۶.۳ مسیرهای هذلولوی ($e > 1$)
۲۱۳	۷.۳ متغیرها: جهانی
۲۲۵	تمرین‌ها
۲۲۸	لیست عبارات کلیدی
۲۳۱	فصل چهارم: مدارها در فضای سه بعدی
۲۳۲	۱.۴ مقدمه
۲۳۳	۲.۴ چارچوب زمین مرکز طرازی، عودی، میل
۲۳۷	۳.۴ بردار حالت و چارچوب استرالی زمین مرکز
۲۴۲	۴.۴ المان‌های مداری و بردار حالت
۲۵۰	۵.۴ تبدیل مختصات
۲۶۴	۶.۴ تبدیل مختصات میان چارچوب‌های استوانی زمین مرکز و مداری کانون مرکز
۲۶۸	۷.۴ اثرات پخیدگی زمین
۲۷۷	۸.۴ رد زمینی
۲۸۳	تمرین‌ها
۲۸۸	لیست عبارات کلیدی
۲۹۰	فصل پنجم: تعیین مدار مقدماتی
۲۹۱	۱.۵ مقدمه
۲۹۲	۲.۵ روش تعیین مدار گیس از روی سه بردار موقعیت
۳۰۰	۳.۵ مساله لامبرت
۳۱۳	۴.۵ زمان نجومی
۳۱۹	۵.۵ سیستم مختصات سطح مرکز
۳۲۲	۶.۵ سیستم مختصات سطح- مرکز استوایی
۳۲۴	۷.۵ سیستم مختصات سطح- مرکز افق محلی
۳۲۹	۸.۵ تعیین مدار با استفاده از اندازه‌گیری‌های زاویه و برد
۳۳۷	۹.۵ تعیین مدار مقدماتی با استفاده از اندازه‌گیری‌های زاویه‌ای
۳۳۷	۱۰.۵ روش تعیین مدار مقدماتی گاوس
۳۵۴	تمرین‌ها

۳۶۱	فصل ششم: مانورهای مداری
۳۶۲	۱.۶ مقدمه
۳۶۲	۲.۶ مانورهای ضربه‌ای
۳۶۴	۳.۶ انتقال هاهمن
۳۷۲	۴.۶ انتقال هاهمن دوبیضوی
۱۷۶	۵.۶ مانورهای تغییر فاز
۳۸۲	۶.۶ انتقال‌های غیرهاهمنی با خط محور مشترک
۳۸۹	۷.۶ دوران خط محور
۳۹۶	۸.۶ مانورهای تعقب
۴۰۰	۹.۶ مانورهای تغییر صفحه
۴۱۵	۱۰.۶ مانورهای مداری غیر بره‌ای
۴۲۲	تمرین‌ها
۴۳۹	لیست عبارات کلیدی
۴۴۰	فصل هفتم: حرکت نسبی و ملاقات مداری
۴۴۱	۱.۷ مقدمه
۴۴۱	۲.۷ حرکت نسبی در مدار
۴۵۱	۳.۷ خطی‌سازی معادلات حرکت نسبی در مدار
۴۵۸	۴.۷ معادلات کلوپی - ویلتشر
۴۶۲	۵.۷ مانورهای ملاقات مداری دو ضربه‌ای
۴۷۰	۶.۷ حرکت نسبی در مدارهای دایروی مجاور
۴۷۴	تمرین‌ها
۴۸۰	لیست عبارات کلیدی
۴۸۱	فصل هشتم: مسیرهای بین سیاره‌ای
۴۸۲	۱.۸ مقدمه
۴۸۲	۲.۸ انتقال‌های بین سیاره‌ای هاهمن
۴۸۴	۳.۸ فرصت‌های ملاقات
۴۹۰	۴.۸ کره تاثیر
۴۹۵	۵.۸ روش مقاطع مخروطی به هم متصل
۴۹۷	۶.۸ عزیمت سیاره‌ای
۵۰۳	۷.۸ تحلیل حساسیت
۵۰۶	۸.۸ ملاقات سیاره‌ای

۵۱۴	۹.۸ عبور سیاره‌ای
۵۲۶	۱۰.۸ مختصات نجومی سیاره‌ای
۵۳۱	۱۱.۸ مسیرهای بین سیاره‌ای غیرهاهمن
۵۳۸	تمرین‌ها
۵۴۰	لیست عبارات کلیدی
۵۴۱	فصل نهم: مقدمه‌ای بر اغتشاشات مداری
۵۴۲	۱.۹ مقدمه
۵۴۳	۲.۹ روش کول
۵۴۵	۳.۹ روش ایزنه
۵۴۷	۴.۹ پسای اتمسفر
۵۵۲	۵.۹ اغتشاشات جاذبی
۵۶۰	۶.۹ تغییر پارامترها
۵۶۵	۷.۹ معادلات دیفرانسیل گاوپس
۵۸۱	۸.۹ روش میانگین‌گیری
۵۸۸	۹.۹ فشار تشعشعات خورشیدی
۵۹۹	۱۰.۹ جاذبه ماه
۶۰۵	۱۱.۹ جاذبه خورشید
۶۰۸	تمرین‌ها
۶۱۴	پیوست A: داده‌های فیزیکی
۶۱۶	پیوست B: نقشه راه
۶۱۷	پیوست C: انتگرال‌گیری عددی از معادلات حرکت n-جسم
۶۲۴	پیوست D: الگوریتم‌های MATLAB
۶۲۵	پیوست E: پتانسیل گرانشی یک کره
۶۲۸	پیوست F: محاسبه تفاضل اعداد تقریباً مساوی
۶۲۹	فهرست مراجع